

(11)特許出願公開番号

特開2003-115610

(P2003-115610A)

(43)公開日 平成15年4月18日(2003.4.18)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テ-マコ-ト\* (参考)

H O 1 L 33/00

H O 1 L 33/00

E 5 F 0 4 1

**C**

審査請求 未請求 請求項の数7 OL (全 7 頁)

(21)出願番号 特願2002-194542(P2002-194542)

(22)出願日 平成14年7月3日(2002.7.3)

(31)優先權主張番号 特願2001-203373(P2001-203373)

(32)優先日 平成13年7月4日(2001.7.4)

(33)優先権主張国 日本(JP)

(71)出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72)発明者 福田 芳克

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72)発明者 藤岡 陽

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(74) 代理人 100074354

弁理士 豊栖 康弘 (外1名)

Fターム(参考) 5F041 AA03 AA21 CA05 CA34 CA40

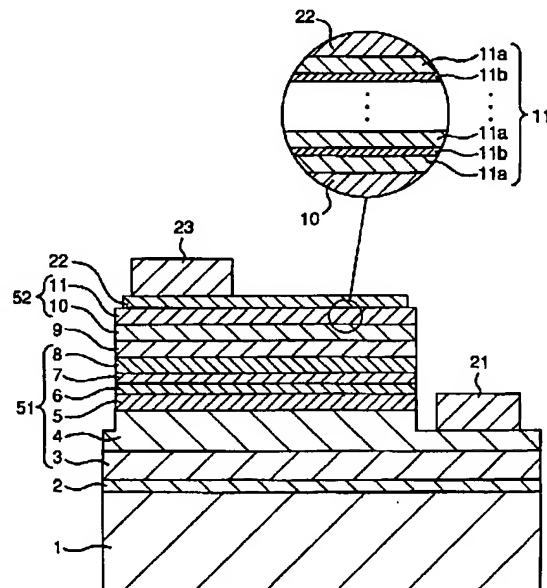
CA46 CA49 CA57

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体素子

(57) 【要約】

【課題】 リーク電流が低くかつ静電耐圧の高い窒化物半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 それぞれ複数の窒化物半導体層からなるp側層とn側層の間に窒化物半導体からなる活性層を有する窒化物半導体素子において、p側層はオーミック電極を形成する層としてp型コンタクト層を含み、そのp型コンタクト層はp型窒化物半導体層とn型窒化物半導体層とが交互に積層されてなる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 それぞれ複数の窒化物半導体層からなるp側層とn側層の間に窒化物半導体からなる活性層を有する窒化物半導体素子であって、

上記p側層はpオーミック電極を形成する層としてp型コンタクト層を含み、該p型コンタクト層はp型窒化物半導体層とn型窒化物半導体層とが交互に積層されてなることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】 前記n型窒化物半導体層に対するp型窒化物半導体層の膜厚比（p型窒化物半導体層の膜厚／n型窒化物半導体層の膜厚）が1以上で9以下に設定された請求項1記載の窒化物半導体素子。

【請求項3】 前記n型窒化物半導体層の膜厚が60Å以下である請求項1又は2記載の窒化物半導体素子。

【請求項4】 前記n型窒化物半導体層にはSiがドーピングされ、前記p型窒化物半導体層にはMgがドーピングされている請求項1～3のうちのいずれか1つに記載の窒化物半導体素子。

【請求項5】 前記n型窒化物半導体層はSiがドーピングされたGaNからなり、前記p型窒化物半導体層はMgがドーピングされたGaNからなる請求項1～3のうちのいずれか1つに記載の窒化物半導体素子。

【請求項6】 前記n型窒化物半導体層はアンドープ層であり、前記p型窒化物半導体層にはMgがドーピングされている請求項1～3のうちのいずれか1つに記載の窒化物半導体素子。

【請求項7】 前記n型窒化物半導体層はアンドープGaNからなり、前記p型窒化物半導体層はMgがドーピングされたGaNからなる請求項1～3のうちのいずれか1つに記載の窒化物半導体素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、発光ダイオード（LED）、レーザダイオード（LD）、太陽電池、光センサー等の発光素子、受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバイスに使用される窒化物半導体（例えば、 $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ 、 $0 \leq a$ 、 $0 \leq b$ 、 $a+b \leq 1$ ）を用いた窒化物半導体素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】窒化物半導体は青色発光素子（LED、LD）、純緑色発光素子を構成することができる半導体材料として注目されて、活発に研究開発が進められている。現在、この窒化物半導体を用いた素子として、高輝度青色LED、純緑色LED等がフルカラーLEDディスプレイ、交通信号灯、イメージスキャナー光源等の光源として実用化されているが、今後ますます幅広い用途に使用されることが期待される。これらのLED素子は基本的に、サファイア基板上にGaNよりなるバッファ層と、SiドーピングGaNよりなるn側コンタクト層と、

単一量子井戸構造（SQW：Single-Quantum-Well）のInGaN、あるいはInGaNを有する多重量子井戸構造（MQW：Multi-Quantum-Well）の活性層と、MgドーピングAlGaNよりなるp側クラッド層と、MgドーピングGaNよりなるp側コンタクト層とが順に積層された構造を有しており、例えば、20mAにおいて、発光波長450nmの青色LEDで5mW、外部量子効率9.1%、520nmの緑色LEDで3mW、外部量子効率6.3%と非常に優れた特性を示す。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、今後窒化物半導体素子の用途が広がるに従って、発光強度及び発光効率に加え、リーク電流の低減や静電耐圧の向上がさらに望まれることが予想される。

【0004】そこで、本発明はリーク電流が低くかつ静電耐圧の高い窒化物半導体発光素子を提供することを目的とする。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】以上の目的を達成するために、本発明に係る窒化物半導体素子は、それぞれ複数の窒化物半導体層からなるp側層とn側層の間に窒化物半導体からなる活性層を有する窒化物半導体素子であって、上記p側層はpオーミック電極を形成する層としてp型コンタクト層を含み、該p型コンタクト層はp型窒化物半導体層とn型窒化物半導体層とが交互に積層されてなることを特徴とする。このように構成された本発明に係る窒化物半導体発光素子において、上記p型コンタクト層がp型窒化物半導体層とn型窒化物半導体層とを交互に積層することにより形成されているので、p側が負でn側が正の逆方向に電圧が印加された場合に、静電破壊電圧（静電耐圧）を高くできかつリーク電流を小さくできる。これは、主として上記p型コンタクト層内のpn接合に逆バイアス電圧が印加されることによるものと考えられる。

【0006】本発明に係る窒化物半導体素子において、前記n型窒化物半導体層に対するp型窒化物半導体層の膜厚比（p型窒化物半導体層の膜厚／n型窒化物半導体層の膜厚）が1以上で9以下に設定されていることが好ましい。

【0007】また、本発明に係る窒化物半導体素子において、順方向電圧を上昇させないように、前記n型窒化物半導体層の膜厚が60Å以下であることが好ましい。

【0008】さらに、本発明に係る窒化物半導体素子において、良好なn型導電性を得るために前記n型窒化物半導体層にはSiがドーピングされ、良好なp型導電性を得るために前記p型窒化物半導体層にはMgがドーピングされていることが好ましい。

【0009】また、本発明に係る窒化物半導体素子において、前記n型窒化物半導体層はSiがドーピングされたGaNからなり、前記p型窒化物半導体層はMgがドーピング

されたGa<sub>0.5</sub>Nからなることが好ましく、これによりp型コンタクト層の抵抗率をより低くできる。また、本発明に係る窒化物半導体素子において、前記n型窒化物半導体層はアンドープ層であり、前記p型窒化物半導体層にはMgがドーパされている。この場合、前記n型窒化物半導体層はアンドープGa<sub>0.5</sub>Nからなり、前記p型窒化物半導体層はMgがドーパされたGa<sub>0.5</sub>Nからなることが好ましい。

#### 【0010】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら、本発明に係る実施の形態の窒化物半導体素子について説明する。図1は、本発明の一実施の形態である窒化物半導体素子（LED素子）の構造を示す模式的断面図であり、本実施の形態の窒化物半導体素子はサファイア基板1の上に、(1) AlGa<sub>0.5</sub>Nよりなるバッファ層2、(2) アンドープGa<sub>0.5</sub>N層3、(3) SiドーパGa<sub>0.5</sub>Nよりなるn型コンタクト層4、(4) アンドープGa<sub>0.5</sub>N層5、(5) SiドーパGa<sub>0.5</sub>N層6、(6) アンドープGa<sub>0.5</sub>N層7、(7) Ga<sub>0.5</sub>N/InGa<sub>0.5</sub>N超格子n型層8、(8) InGa<sub>0.5</sub>N層を井戸層としGa<sub>0.5</sub>N層を障壁層とする多重量子井戸構造の活性層9、(9) p-AlGa<sub>0.5</sub>N/p-InGa<sub>0.5</sub>N超格子p型層10、(10) MgドーパGa<sub>0.5</sub>N/SiドーパGa<sub>0.5</sub>N変調ドーパp側コンタクト層11、が順に積層された構造を有し、以下のようにp側及びn側の電極が形成されて構成されている。

【0011】nオーミック電極21は、例えば、素子の隅部においてp側コンタクト層11からアンドープGa<sub>0.5</sub>N層5までをエッチングにより除去して、n型コンタクト層4の一部を露出させ、露出させたn型コンタクト層4上に形成する。また、p側の電極としては、p側コンタクト層11上のほぼ全面にpオーミック電極22を形成し、そのpオーミック電極22上の一部にpパッド電極23を形成している。

【0012】ここで、特に本実施の形態の窒化物半導体素子は、p側コンタクト層11をMgドーパGa<sub>0.5</sub>N層11aとSiドーパGa<sub>0.5</sub>N層11bとを交互に積層した変調ドーパ層により構成したことを特徴とし、これによりリーク電流を低減しつつ静電耐圧を向上させている。本実施の形態において、p側コンタクト層11（SiドーパGa<sub>0.5</sub>N層11b）における好ましいSiのドーパ量としては $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、さらに好ましくは $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲に調整する。 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上とすることで、リーク電流を小さくする効果が顕著に現れ、 $1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ より大きくなると結晶性が悪くなり、発光効率が低下する傾向にあるからである。

【0013】また、p側コンタクト層11（MgドーパGa<sub>0.5</sub>N層11a）における好ましいMgのドーパ量としては、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、さらに好ましくは $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3 \sim 3 \times 10^{20}$

$/ \text{cm}^3$ とする。 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上とすることで、pオーミック電極とより良好なオーミック接触が得られ、また、 $1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ より大きくすると、多量にSiをドーパする場合と同様、結晶性が悪くなってしまうからである。

【0014】また、本発明において、p-AlGa<sub>0.5</sub>N/p-InGa<sub>0.5</sub>N超格子p型層10は、クラッド層として機能し、光の閉じこめ、および活性層への正孔が注入される層となる。このp-AlGa<sub>0.5</sub>N/p-InGa<sub>0.5</sub>N超格子p型層10はp型とするために、p型不純物、例えば、Mgがドーパされるが、p-AlGa<sub>0.5</sub>N層に対するMgのドーパ量とp-InGa<sub>0.5</sub>N層に対するMgのドーパ量は同一であっても異なっても良いが、それぞれp側コンタクト層のMgドーパGa<sub>0.5</sub>N層11aのMgのドーパ量よりも少ない量に設定することが好ましく、これによりV<sub>f</sub>（順方向電圧）をより低くできる。また、p-AlGa<sub>0.5</sub>N/p-InGa<sub>0.5</sub>N超格子p型層10のp-InGa<sub>0.5</sub>N層はMgドーパのGa<sub>0.5</sub>N層で構成することもできる。

【0015】また、p-AlGa<sub>0.5</sub>N/p-InGa<sub>0.5</sub>N（p-GaN）超格子p型層10において、p-AlGa<sub>0.5</sub>N層及びp-InGa<sub>0.5</sub>N（p-GaN）層の各膜厚は、100Å以下、より好ましくは70Å以下、よりいっそう好ましくは10～40Åの範囲に設定する。この場合、p-AlGa<sub>0.5</sub>N層の膜厚とp-InGa<sub>0.5</sub>N（p-GaN）層の膜厚は、同一であっても異なっても良い。超格子p型層10は、p-AlGa<sub>0.5</sub>N層とp-InGa<sub>0.5</sub>N（p-GaN）層を交互に成長させて形成するが、例えば、p-AlGa<sub>0.5</sub>N層から積層してp-AlGa<sub>0.5</sub>N層で終わってもよく、p-InGa<sub>0.5</sub>N（p-GaN）層から始めてp-InGa<sub>0.5</sub>N（p-GaN）層で終わってもよい。しかしながら、InGa<sub>0.5</sub>N層は熱分解しやすいので、InGa<sub>0.5</sub>N層の表面が長時間、高温雰囲気中に曝されないように、p-AlGa<sub>0.5</sub>N層で終わっていることが好ましい。

【0016】さらに、p-AlGa<sub>0.5</sub>N/p-InGa<sub>0.5</sub>N（p-GaN）超格子p型層10の総膜厚は、発光出力を高くしつつV<sub>f</sub>を低くするために、2000Å以下に設定することが好ましく、より好ましくは1000Å以下、さらに好ましくは500Å以下に設定する。また、p-AlGa<sub>0.5</sub>N/p-InGa<sub>0.5</sub>N（p-GaN）超格子p型層10の各膜厚は、p型コンタクト層の各膜厚よりも薄くすることが好ましい。すなわち、多層膜のp型コンタクト層に隣接する層を超格子層とし、各膜厚をp型コンタクト層のn型層及びp型層のそれぞれの膜厚よりも薄くすることで、さらに静電耐圧の高い窒化物半導体素子を構成できる。

【0017】又、本実施の形態では、p-AlGa<sub>0.5</sub>N/p-InGa<sub>0.5</sub>N超格子p型層10を用いた形について説明したが、本発明はこれに限られるものではなく、少な

くとも、AlGa<sub>N</sub>を有していれば良く、AlGa<sub>N</sub>単一層でもよい。p-AlGa<sub>N</sub>/p-InGa<sub>N</sub>超格子とすることで、AlGa<sub>N</sub>単一層と比べて結晶性が良くなり、抵抗率がさらに低下しV<sub>f</sub>が低下する傾向にある。

【0018】以上の実施の形態では、V<sub>f</sub>を低くするために、好ましい形態として、p型コンタクト層をそれぞれGa<sub>N</sub>からなるn型窒化物半導体層(SiドープGa<sub>N</sub>層)とp型窒化物半導体層(MgドープGa<sub>N</sub>層)により構成したが、本発明はこれに限られるものではない。また、微量のInを含むInGa<sub>N</sub>もしくは微量のAlを含むAlGa<sub>N</sub>であれば、実質的にGa<sub>N</sub>と同様の効果が得られる。また、その他の微量の元素(In, Al以外の元素)がGa<sub>N</sub>に含まれていても同様、Ga<sub>N</sub>と同等の効果が得られる。

【0019】また、上述の実施の形態では、p型コンタクト層を構成するn型窒化物半導体層としてSiドープGa<sub>N</sub>層を用いたが、本発明はこれに限られるものではなく、n型窒化物半導体層はアンドープ層のn型層で構成してもよい。すなわち、本発明では、アンドープの窒\*

\*化物半導体層がn型の導電性を示すことを利用して、n型窒化物半導体層としてアンドープの窒化物半導体層を用いても良い。尚、n型窒化物半導体層としてアンドープの窒化物半導体層を用いる場合、アンドープのGa<sub>N</sub>層を用いることが好ましい。より好ましくは、アンドープのGa<sub>N</sub>層とMgドープのGa<sub>N</sub>層とを組み合わせ、p型コンタクト層を構成する。

【0020】

【実施例】以下、実施例を用いて本発明についてより具体的に説明する。

実施例1. まず、実施例1として、p側コンタクト層11におけるMgドープGa<sub>N</sub>層11aとSiドープGa<sub>N</sub>層11bの膜厚比を変えた3種類のサンプルを作製して、逆方向の静電耐圧特性をそれぞれ評価した。本実施例1において、各半導体層の膜厚は表1に示すように設定し、各サンプルのp側コンタクト層11におけるMgドープGa<sub>N</sub>層11aとSiドープGa<sub>N</sub>層11bの膜厚の比は表2に示すようにした。

【0021】表1

層	厚さ (Å) 及び構成
バッファ層2	200
アンドープGa <sub>N</sub> 層3	15000
n型コンタクト層4	21650
アンドープGa <sub>N</sub> 層5	3000
SiドープGa <sub>N</sub> 層6	300
アンドープGa <sub>N</sub> 層7	50
超格子n型層8	GaN (40) / InGa <sub>N</sub> (20) × 10 周期 (最後はGa <sub>N</sub> 層)
多重量子井戸構造の活性層9	GaN (250) + InGa <sub>N</sub> (28) / Ga <sub>N</sub> (15, 6) × 5 周期
超格子p型層10	p-AlGa <sub>N</sub> (40) / p-InGa <sub>N</sub> (25) × 5 周期 + p-AlGa <sub>N</sub> 層
p側コンタクト層11	1200

【0022】表2

サンプルNo.	膜厚比	Mg : Ga <sub>N</sub> 層11a	Si : Ga <sub>N</sub> 層11b
サンプル1	9 : 1	108 Å	12 Å
サンプル2	7 : 3	84 Å	36 Å
サンプル3	5 : 5	60 Å	60 Å

尚、本実施例1において、Ga<sub>N</sub>層11aのMgドープ量は $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ とし、Ga<sub>N</sub>層11bのSiドープ量は $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とした。また、各サンプルは1つのGa<sub>N</sub>層11aと1つのGa<sub>N</sub>層11bとを1周期として10周期とした。

【0023】以上のようにして作製したサンプル1～3※50

※においてそれぞれ静電破壊電圧を評価した結果を図2のグラフに示す。尚、図2のグラフの縦軸は基準サンプル(比較例)の静電破壊電圧により規格化した値で示している。この基準サンプルはp側コンタクト層をMgが $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ドープされたGa<sub>N</sub>からなる単層とした以外は実施例1と同様に構成されている。図2のグ

ラフに示すように、本実施例1のサンプル1～3のいずれのサンプルについても、静電破壊電圧が比較例より向上していることが確認された。また、これにより膜厚比を7:3とすることで、静電破壊電圧を最も高くできることが確認された。

#### 【0024】実施例1の変形例

実施例1では、超格子p型層と、p型コンタクト層11の間に、不純物濃度が低いAlGa<sub>N</sub>又はGa<sub>N</sub>層を形成することができ、これにより、より静電耐圧を高くできる。この低濃度AlGa<sub>N</sub>又はGa<sub>N</sub>層は好ましくは0.5μm以下、例えば、0.2μmの膜厚で形成する。この層は、アンドープで形成してもよく、p型不純物、例えばMgをドープしながら形成しても良いが、Mgをドープしながら形成する場合は、隣接する層のMg濃度よりも低くなるようにする。このようにすると、実施例1の素子に比較して、より静電耐圧を高くできる。

【0025】実施例2. 実施例1のサンプル1～3に、MgドープGa<sub>N</sub>層11aの膜厚を36ÅとしSiドープGa<sub>N</sub>層11bの膜厚を84Åとしたサンプル4を加え、各サンプルについてそれぞれ、SiドープGa<sub>N</sub>層11bにおけるSiドープ量を0～ $1.5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ まで変化させて各サンプルについて、順方向電圧と発光出力を評価した。その結果を図3、図4に示す。

この図3に示すように、サンプル1～3においては、順\*

サンプルNo.	周期	Mg:Ga <sub>N</sub> 層11a	Si:Ga <sub>N</sub> 層11b
サンプル4-1	1	494Å	212Å
サンプル4-2	5	147Å	63Å
サンプル4-3	10	84Å	36Å
サンプル4-4	15	56Å	24Å
サンプル4-5	30	28Å	12Å

ここで、SiドープGa<sub>N</sub>層11bのSiドープ量は、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とした。その結果を、図6、図7及び図8に示す。図6及び図7に示すように、順方向電圧及び発光出力は積層周期数にはほぼ依存しないことが確認された。また、図8に示すように、静電破壊電圧は、10周期の場合が最も高くなり、次は15周期の場合であった。

【0028】実施例5. 実施例5では、MgドープGa<sub>N</sub>層11aの膜厚(84Å)とSiドープGa<sub>N</sub>層11bの膜厚(36Å)の比を7:3とし、それを1周期として10周期繰り返して構成したコンタクト層において、SiドープGa<sub>N</sub>層11bのSiドープ量を0～ $1.5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の範囲で種々変化させて順方向電圧と発光出力を評価した。その結果を図9、図10に示す。図9に示すように、発光出力及び順方向電圧はSiドープGa<sub>N</sub>層11bのSiドープ量にはほとんど依存しないことが確認された。

【0029】実施例6. 実施例6では、MgドープGa<sub>N</sub>層11aの膜厚(84Å)とSiドープGa<sub>N</sub>層11

\* 方向電圧を上昇させることがないことが確認され、図4に示すように発光出力についてはサンプル1～4はいずれも基準サンプルと同等又はそれ以上であることが確認された。尚、図4のE+18及びE+19は、それぞれ( $\times 10^{18}$ )及び( $\times 10^{19}$ )を意味するものであり、単位は $\text{cm}^{-3}$ である。

【0026】実施例3. 実施例3では、MgドープGa<sub>N</sub>層11aとSiドープGa<sub>N</sub>層11bとの積層周期を10周期と固定し、MgドープGa<sub>N</sub>層11aの膜厚を84ÅとしSiドープGa<sub>N</sub>層11bの膜厚を36Åとしたサンプルにおいて、SiドープGa<sub>N</sub>層11bのSiドープ量を、 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $2.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とした3種類のサンプルを作製して、その静電破壊電圧を測定した。その結果を、図5に示す。図5に示すように、SiドープGa<sub>N</sub>層11bにおけるSiドープ量が増加するほど、静電破壊電圧が向上することが確認された。

【0027】実施例4. 実施例4では、MgドープGa<sub>N</sub>層11aとSiドープGa<sub>N</sub>層11bとの膜厚比を7:3に固定し、その周期を変えた、以下の表3の5種類のサンプルを作製して、それぞれ順方向電圧、発光出力及び静電破壊電圧について測定した。

表3

※bの膜厚(36Å)の比を7:3とし、それを1周期として10周期繰り返して構成したコンタクト層において、SiドープGa<sub>N</sub>層11bのSiドープ量を0～ $1.5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の範囲で種々変化させた各サンプルにおいて、ホール測定を熱アニールの前後で行った。尚、熱処理は、650℃、0.5時間で行った。その結果を図11に示す。その結果、SiドープGa<sub>N</sub>層11bに、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の比較的ドープ量の多いサンプルについては、熱アニールにより抵抗率の減少が顕著であることが確認された。また、これらの抵抗率は、p-コンタクト層をp-GaNの単層膜で構成した場合の抵抗率である $10 \Omega \cdot \text{cm}$ より低い値であり、本願のMgドープGa<sub>N</sub>層11aとSiドープGa<sub>N</sub>層11bとが交互に積層されてなるコンタクト層は低抵抗化にも有効であることが確認された。

#### 【0030】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明に係る窒化物半導体素子は、上記p型コンタクト層内にp

n接合が形成されているので、正の逆方向に電圧が印加された場合における静電破壊電圧（静電耐圧）を高くでき、きかつリーク電流を小さくできる。これにより、より高い静電耐圧が要求される用途に適用することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る実施の形態の窒化物半導体素子の模式的な断面図である。

【図2】 本発明に係る実施例1の各サンプルの静電破壊電圧を示すグラフである。

【図3】 本発明に係る実施例2の各サンプルの順方向電圧を示すグラフである。

【図4】 実施例2の各サンプルの発光出力を示すグラフである。

【図5】 本発明に係る実施例3の各サンプルの静電破壊電圧を示すグラフである。

【図6】 本発明に係る実施例4の各サンプルの順方向電圧を示すグラフである。

【図7】 実施例4の各サンプルの発光出力を示すグラフである。

【図8】 実施例4の各サンプルの静電破壊電圧を示すグラフである。

【図9】 本発明に係る実施例5の各サンプルの順方向

電圧を示すグラフである。

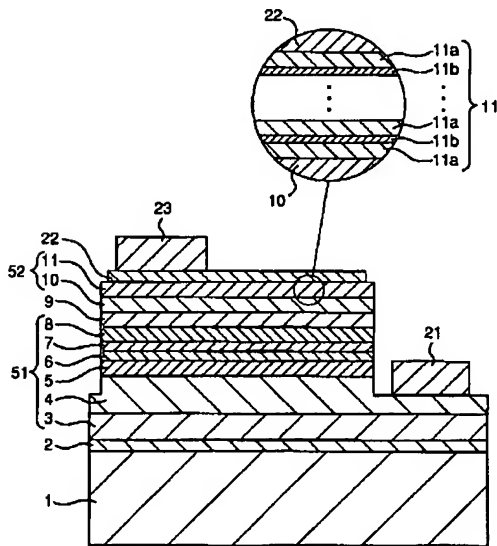
【図10】 実施例5の各サンプルの発光出力を示すグラフである。

【図11】 本発明に係る実施例6の各サンプルの熱処理前後の抵抗率を示すグラフである。

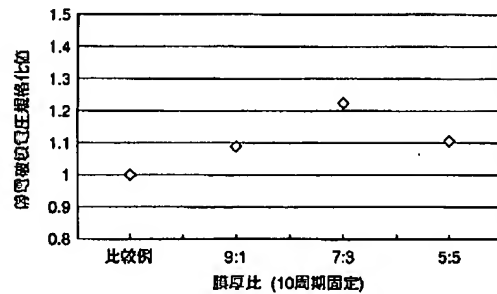
【符号の説明】

- 1…サファイア基板、
- 2…バッファ層、
- 3…アンドープGa<sub>0.9</sub>N層、
- 4…n型コンタクト層、
- 5…アンドープGa<sub>0.9</sub>N層、
- 6…SiドープGa<sub>0.9</sub>N層、
- 7…アンドープGa<sub>0.9</sub>N層、
- 8…Ga<sub>0.9</sub>N/InGa<sub>0.9</sub>N超格子n型層、
- 9…多重量子井戸構造の活性層、
- 10…p-AlGa<sub>0.9</sub>N/p-InGa<sub>0.9</sub>N超格子p型層、
- 11…MgドープGa<sub>0.9</sub>N/SiドープGa<sub>0.9</sub>N変調ドープp側コンタクト層、
- 11a…MgドープGa<sub>0.9</sub>N層、
- 11b…SiドープGa<sub>0.9</sub>N層、
- 21…nオーミック電極、
- 22…pオーミック電極、
- 23…pパッド電極。

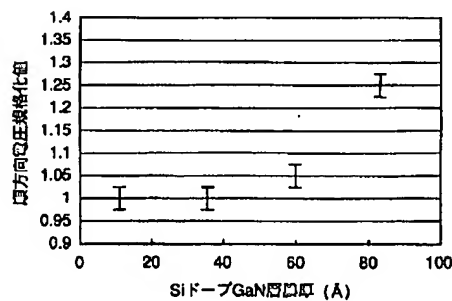
【図1】



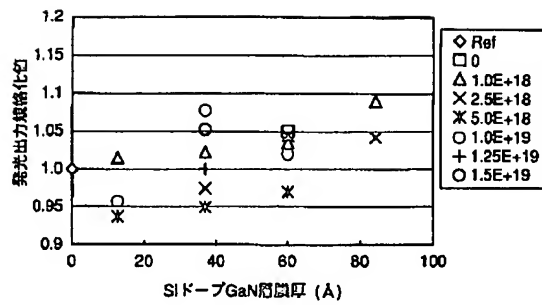
【図2】



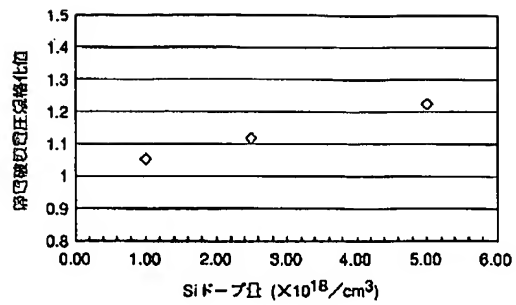
【図3】



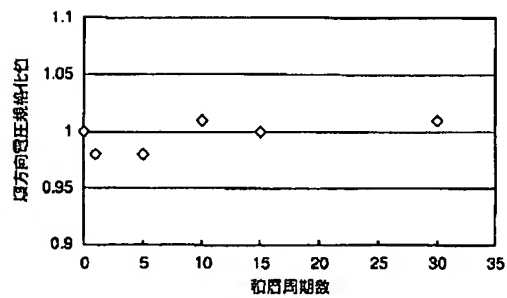
【図4】



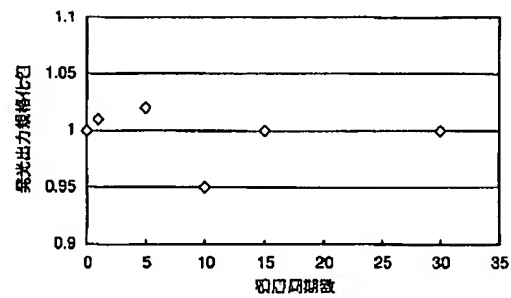
【図5】



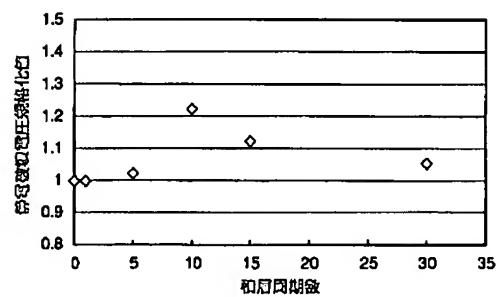
【図6】



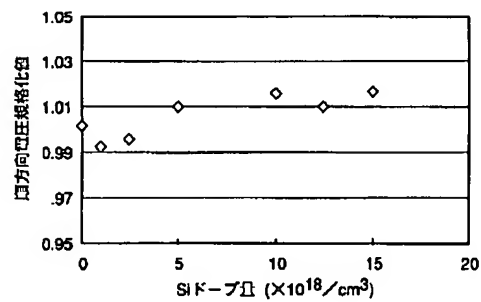
【図7】



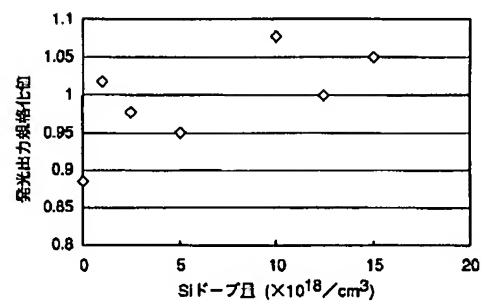
【図8】



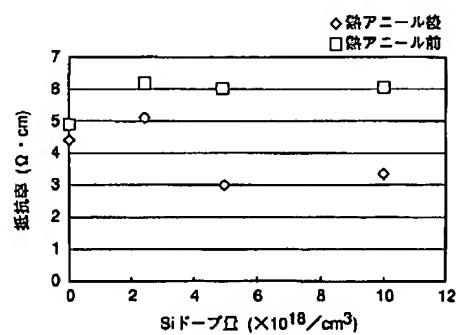
【図9】



【図10】



【図11】



## \*NOTICES\*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## EXAMPLE

[Example] Hereafter, this invention is more concretely explained using an example.

example 1. -- three kinds of samples which changed the thickness ratio of Mg dope GaN layer 11a and Si dope GaN layer 11b in the p side contact layer 11 as an example 1 were produced first, and the electrostatic proof-pressure property of hard flow was evaluated, respectively. In this example 1, the thickness of each semi-conductor layer is set up as shown in Table 1, and the ratio of the thickness of Mg dope GaN layer 11a in the p side contact layer 11 of each sample and Si dope GaN layer 11b was shown in Table 2.

層	厚さ (Å) 及び構成
バッファ層 2	200
アンドープGa <sub>N</sub> 層 3	15000
n型コンタクト層 4	21650
アンドープGa <sub>N</sub> 層 5	3000
SiドープGa <sub>N</sub> 層 6	300
アンドープGa <sub>N</sub> 層 7	50
超格子n型層 8	GaN (40) / InGa <sub>N</sub> (20) × 10 周期 (最後はGa <sub>N</sub> 層)
多重量子井戸構造の活性層 9	GaN (250) + InGa <sub>N</sub> (28) / Ga <sub>N</sub> (15.6) × 5 周期
超格子p型層 10	p-AlGa <sub>N</sub> (40) / p-InGa <sub>N</sub> (25) × 5 周期 + p-AlGa <sub>N</sub> 層
p側コンタクト層 11	1200

[0021] Table 1

サンプル No.	膜厚比	Mg : Ga <sub>N</sub> 層 11a	Si : Ga <sub>N</sub> 層 11b
サンプル 1	9 : 1	108 Å	12 Å
サンプル 2	7 : 3	84 Å	36 Å
サンプル 3	5 : 5	60 Å	60 Å

[0022] Table 2

In addition, in this example 1, the amount of Mg dopes of GaN layer 11a was set to  $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ , and the amount of Si dopes of GaN layer 11b was set to  $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ . Moreover, each sample was taken as ten periods by making one GaN layer 11a and one GaN layer 11b into one period.

[0023] The result of having evaluated the electrostatic-discharge electrical potential difference in the samples 1-3 produced as mentioned above, respectively is shown in the graph of drawing 2. In addition, the value standardized with the electrostatic-discharge electrical potential difference of a criteria sample (example of a comparison) shows the axis of ordinate of the graph of drawing 2. This criteria sample is constituted like the example 1 except having used the p side contact layer as the monolayer which Mg becomes from GaN doped  $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ . As shown in the graph of drawing 2, it was checked also about which sample of the samples 1-3 of this example 1 that the electrostatic-discharge electrical potential difference is improving from the example of a comparison. Moreover, it was checked by setting a thickness ratio to 7:3 by this that an electrostatic-discharge electrical potential difference can be made the highest.



[0024] In the modification example 1 of an example 1, between a superlattice p type layer and p mold contact layer 11, high impurity concentration can form low AlGa<sub>N</sub> or a Ga<sub>N</sub> layer, and, thereby, can make electrostatic pressure-proofing high more. This low concentration AlGa<sub>N</sub> or a Ga<sub>N</sub> layer is preferably formed by thickness 0.5 micrometers or less, for example, 0.2 micrometers. When forming doping Mg, it is made to become lower than Mg concentration of the adjoining layer, although this layer may be formed by undoping, and it may be formed, doping p mold impurity, for example, Mg. If it does in this way, as compared with the component of an example 1, electrostatic pressure-proofing can be made high more.

[0025] The sample 4 which made 36A thickness of Mg dope Ga<sub>N</sub> layer 11a, and made 84A thickness of Si dope Ga<sub>N</sub> layer 11b at the samples 1-3 of the example 2. example 1 was added, the amount of Si dopes in Si dope Ga<sub>N</sub> layer 11b was changed to  $0.15 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  about each sample, respectively, and forward voltage and a radiant power output were evaluated about each sample. The result is shown in drawing 3 and drawing 4. As shown in this drawing 3, in samples 1-3, not raising forward voltage was checked, and as shown in drawing 4, about the radiant power output, as for samples 1-4, it was checked by each equivalent to a criteria sample or that it is more than it. In addition, it means and the unit of E+18 of drawing 4 and E+19 is [ each ( $\times 10^{18}$ ) and ( $\times 10^{19}$ ) ]  $\text{cm}^{-3}$ .

[0026] In the example 3. example 3, the laminating period of Mg dope Ga<sub>N</sub> layer 11a and Si dope Ga<sub>N</sub> layer 11b is fixed with ten periods. In the sample which made 84A thickness of Mg dope Ga<sub>N</sub> layer 11a, and made 36A thickness of Si dope Ga<sub>N</sub> layer 11b Three kinds of samples which set the amount of Si dopes of Si dope Ga<sub>N</sub> layer 11b to  $1.0 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ,  $2.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ , and  $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  were produced, and the electrostatic-discharge electrical potential difference was measured. The result is shown in drawing 5. It was checked that an electrostatic-discharge electrical potential difference improves, so that the amount of Si dopes in Si dope Ga<sub>N</sub> layer 11b increased, as shown in drawing 5.

[0027] In the example 4. example 4, the thickness ratio of Mg dope Ga<sub>N</sub> layer 11a and Si dope Ga<sub>N</sub> layer 11b was fixed to 7:3, five kinds of samples of the following table 3 which changed the period were produced, and it measured about forward voltage, the radiant power output, and the electrostatic-discharge electrical potential difference, respectively.

サンプルNo.	周期	Mg : Ga <sub>N</sub> 層 11a	Si : Ga <sub>N</sub> 層 11b
サンプル4-1	1	494 Å	212 Å
サンプル4-2	5	147 Å	63 Å
サンプル4-3	10	84 Å	36 Å
サンプル4-4	15	56 Å	24 Å
サンプル4-5	30	28 Å	12 Å

Table 3

Here, the amount of Si dopes of Si dope Ga<sub>N</sub> layer 11b was set to  $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ . The result is shown in drawing 6, drawing 7, and drawing 8. As shown in drawing 6 and drawing 7, not depending for forward voltage and a radiant power output on laminating periodicity mostly was checked. Moreover, as shown in drawing 8, it became high [ the case of ten periods ] most [ an electrostatic-discharge electrical potential difference ], and, next, it was the case of 15 periods.

[0028] The ratio of the thickness (84A) of Mg dope Ga<sub>N</sub> layer 11a and the thickness (36A) of Si dope Ga<sub>N</sub> layer 11b was set to 7:3, in the contact layer which made it one period and constituted it repeatedly the term 10 rounds, the amount of Si dopes of Si dope Ga<sub>N</sub> layer 11b was variously changed in the range of zero to  $1.5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ , and the example 5. example 5 estimated forward voltage and a radiant power output. The result is shown in drawing 9 and drawing 10. As shown in drawing 9, hardly depending for a radiant power output and forward voltage on the amount of Si dopes of Si dope Ga<sub>N</sub> layer 11b was checked.

[0029] In the contact layer which set the ratio of the thickness (84A) of Mg dope Ga<sub>N</sub> layer 11a, and the thickness (36A) of Si dope Ga<sub>N</sub> layer 11b to 7:3, and was repeatedly constituted [ by making it into one period ] from an example 6. example 6 the term 10 rounds In each sample to which the amount of Si dopes of Si dope Ga<sub>N</sub> layer 11b was variously changed in the range of zero to  $1.5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ , hole measurement was performed before and behind heat annealing. In addition, heat treatment was performed in 650 degrees C and 0.5 hours. The result is shown in drawing 11. Consequently, about the sample with comparatively many amounts of dopes of  $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  and  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ , it was checked by Si dope Ga<sub>N</sub> layer 11b by heat annealing that reduction in resistivity is remarkable. Moreover, it was checked that the contact layer to which these resistivity is values lower than 10 ohm-cm which is the resistivity at the time of constituting p-contact layer from monolayer of p-Ga<sub>N</sub>, and it comes to carry out the laminating of Mg dope Ga<sub>N</sub> layer 11a of this application and the Si dope Ga<sub>N</sub> layer 11b by turns is effective also in the reduction in resistance.

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## MEANS

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above purpose, the nitride semiconductor device concerning this invention It is the nitride semiconductor device which has the barrier layer which consists of a nitride semi-conductor between the p side layer which consists of two or more nitride semi-conductor layers, respectively, and the n side layer. As for this p mold contact layer, p mold nitride semi-conductor layer and n mold nitride semi-conductor layer are characterized by coming to carry out a laminating by turns including p mold contact layer as a layer in which the above-mentioned p side layer forms p ohmic electrode. Thus, in the nitride semi-conductor light emitting device concerning constituted this invention, since it is formed when the above-mentioned p mold contact layer carries out the laminating of p mold nitride semi-conductor layer and the n mold nitride semi-conductor layer by turns, when an electrical potential difference is impressed to hard flow forward in the n side by negative, the p side can make high an electrostatic-discharge electrical potential difference (electrostatic proof pressure), and can make leakage current small. This is considered to be because for a reverse bias electrical potential difference to be impressed mainly to the pn junction in the above-mentioned p mold contact layer.

[0006] In the nitride semiconductor device concerning this invention, it is desirable that the thickness ratio (thickness of the thickness / n mold nitride semi-conductor layer of p mold nitride semi-conductor layer) of p mold nitride semi-conductor layer to said n mold nitride semi-conductor layer is set or less to nine by one or more.

[0007] Moreover, in the nitride semiconductor device concerning this invention, it is desirable that the thickness of said n mold nitride semi-conductor layer is 60Å or less so that forward voltage may not be raised.

[0008] Furthermore, in the nitride semiconductor device concerning this invention, in order for Si to be doped by said n mold nitride semi-conductor layer in order to acquire good n mold conductivity, and to acquire good p mold conductivity, it is desirable that Mg is doped by said p mold nitride semi-conductor layer.

[0009] Moreover, in the nitride semiconductor device concerning this invention, said n mold nitride semi-conductor layer consists of GaN by which Si was doped, as for said p mold nitride semi-conductor layer, consisting of GaN by which Mg was doped is desirable, and, thereby, it can make the resistivity of p mold contact layer lower. Moreover, in the nitride semiconductor device concerning this invention, said n mold nitride semi-conductor layer is an undoping layer, and Mg may be doped by said p mold nitride semi-conductor layer. In this case, said n mold nitride semi-conductor layer consists of undoping GaN, and, as for said p mold nitride semi-conductor layer, consisting of GaN by which Mg was doped is desirable.

[0010] [Embodiment of the Invention] Hereafter, the nitride semiconductor device of the gestalt of operation concerning this invention is explained, referring to a drawing. Drawing 1 is the typical sectional view showing the structure of the nitride semiconductor device (LED component) which is the gestalt of 1 operation of this invention. The nitride semiconductor device of the gestalt of this operation on silicon on sapphire 1 (1) The buffer layer 2 which consists of AlGa<sub>N</sub>, (2) the undoping Ga<sub>N</sub> layer 3, n mold contact layer 4 which consists of a (3) Si dope Ga<sub>N</sub>, the (4) undoping Ga<sub>N</sub> layer 5, the (5) Si dope Ga<sub>N</sub> layer 6, the (6) undoping Ga<sub>N</sub> layer 7, the (7) Ga<sub>N</sub>/InGa<sub>N</sub> superlattice n type layer 8, and (8) InGa<sub>N</sub> layers It has the barrier layer 9 of the multiplex quantum well structure which considers as a well layer and makes a Ga<sub>N</sub> layer a barrier layer, the (9) p-AlGa<sub>N</sub>/p-InGa<sub>N</sub> superlattice p type layer 10, and the structure where the laminating of the contact layer 11\*\* was carried out to order the (10) Mg dope Ga<sub>N</sub>/Si dope Ga<sub>N</sub> modulation dope p side. The electrode by the side of p and n is formed and constituted as follows.

[0011] The n ohmic electrode 21 is formed for example, on n mold contact layer 4 which removed from the p side contact layer 11 to the undoping Ga<sub>N</sub> layer 5 by etching in the corner of a component, was made to expose a part of n mold contact layer 4, and was exposed. Moreover, as an electrode by the side of p, the p ohmic electrode 22 is mostly formed in the whole surface, and p pad electrode 23 is formed in a part of p side contact layer 11 up one which it is on

the p ohmic electrode 22.

[0012] Here, especially the nitride semiconductor device of the gestalt of this operation is characterized by constituting the p side contact layer 11 by the modulation dope layer which carried out the laminating of Mg dope GaN layer 11a and the Si dope GaN layer 11b by turns, and reduces leakage current by this, and is raising electrostatic pressure-proofing. as the amount of dopes of desirable Si [ in / on the gestalt of this operation, and / the p side contact layer 11 (Si dope GaN layer 11b) ] -- three to  $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$  of  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  -- it adjusts to the range of three to  $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  of  $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  still more preferably. It is because it is in the inclination for luminous efficiency to fall by crystallinity worsening when the effectiveness which makes leakage current small shows up notably and becomes larger than  $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$  by being referred to as three or more  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ .

[0013] moreover -- as the amount of dopes of desirable Mg in the p side contact layer 11 (Mg dope GaN layer 11a) -- three to  $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$  of  $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  -- it is referred to as three to  $3 \times 10^{20}/\text{cm}^3$  of  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  still more preferably. It is because crystallinity as well as the case where Si is doped so much will worsen if p ohmic electrode and better ohmic contact are acquired and it is made larger than  $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$  by being referred to as three or more  $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ .

[0014] Moreover, in this invention, the p-AlGaIn/p-InGaIn superlattice p type layer 10 turns into a layer into which it functions as a cladding layer, and light shuts up, and the electron hole to a barrier layer is injected. Although you may differ even if the amount of dopes of Mg to a p-AlGaIn layer and the amount of dopes of Mg to a p-InGaIn layer are the same, although p mold impurity, for example, Mg, is doped in order to use this p-AlGaIn/p-InGaIn superlattice p type layer 10 as p mold, it is desirable to set it as an amount respectively smaller than the amount of dopes of Mg of Mg dope GaN layer 11a of the p side contact layer, and, thereby, it can make  $V_f$  (forward voltage) lower. Moreover, the p-InGaIn layer of the p-AlGaIn/p-InGaIn superlattice p type layer 10 can also consist of GaN layers of Mg dope.

[0015] Moreover, in the p-AlGaIn/p-InGaIn (p-GaN) superlattice p type layer 10, 100Å or less of 70Å or less of each thickness of a p-AlGaIn layer and a p-InGaIn (p-GaN) layer is more preferably set as the range of 10-40Å much more preferably. In this case, even if the thickness of a p-AlGaIn layer and the thickness of a p-InGaIn (p-GaN) layer are the same, they may differ. Although the superlattice p type layer 10 grows up a p-AlGaIn layer and a p-InGaIn (p-GaN) layer by turns and forms them, for example, a laminating may be carried out from a p-AlGaIn layer, and you may finish with a p-AlGaIn layer, and it may be begun from a p-InGaIn (p-GaN) layer, and may be finished with a p-InGaIn (p-GaN) layer. However, since it is easy to pyrolyze an InGaIn layer, having finished with the p-AlGaIn layer is desirable so that the front face of an InGaIn layer may not be put into long duration and an elevated-temperature ambient atmosphere.

[0016] Furthermore, in order to make a radiant power output high and to make  $V_f$  low, as for the total thickness of the p-AlGaIn/p-InGaIn (p-GaN) superlattice p type layer 10, it is desirable to set it as 2000Å or less, and it sets it as 500Å or less still more preferably 1000Å or less more preferably. Moreover, as for each thickness of the p-AlGaIn/p-InGaIn (p-GaN) superlattice p type layer 10, it is desirable to make it thinner than each thickness of p mold contact layer. That is, a nitride semiconductor device with electrostatic, still higher pressure-proofing can consist of using as a superlattice layer the layer which adjoins p mold contact layer of multilayers, and making each thickness thinner than each thickness of n type layer of p mold contact layer, and p type layer.

[0017] Moreover, although the gestalt of this operation explained the form where the p-AlGaIn/p-InGaIn superlattice p type layer 10 was used, an AlGaIn monolayer is [ that what is necessary is not to be restricted to this and just to have AlGaIn at least ] sufficient as this invention. It is in the inclination for crystallinity to become good compared with an AlGaIn monolayer, for resistivity to fall further, and for  $V_f$  to fall by considering as p-AlGaIn/p-InGaIn superlattice.

[0018] Although n mold nitride semi-conductor layer (Si dope GaN layer) and p mold nitride semi-conductor layer (Mg dope GaN layer) which consist of GaN, respectively constituted p mold contact layer from the gestalt of the above operation as a desirable gestalt in order to make  $V_f$  low, this invention is not restricted to this. Moreover, if it is AlGaIn containing InGaIn containing In of a minute amount, or aluminum of a minute amount, the same effectiveness as GaN will be acquired substantially. Moreover, even if the element (elements other than In and aluminum) of other minute amounts is contained in GaN, effectiveness equivalent to GaN is acquired similarly.

[0019] Moreover, although the Si dope GaN layer was used as an n mold nitride semi-conductor layer which constitutes p mold contact layer, this invention is not restricted to this and n type layer of an undoping layer may constitute n mold nitride semi-conductor layer from the gestalt of above-mentioned operation. That is, in this invention, the nitride semi-conductor layer of undoping may be used as an n mold nitride semi-conductor layer using the nitride semi-conductor layer of undoping showing the conductivity of n mold. In addition, when using the nitride semi-conductor layer of undoping as an n mold nitride semi-conductor layer, it is desirable to use the GaN layer of undoping. p mold contact layer is more preferably constituted combining the GaN layer of undoping, and the GaN layer of Mg dope.

---

[Translation done.]